

2º SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE REDES DE COMPUTADORES (2º SBRC)

ASPECTOS DA INTEGRAÇÃO DOS SERVIÇOS DE VOZ E DADOS
EM
REDES DE LONGA DISTÂNCIA

POR

MARCOS A. G. BRASILEIRO E J. ANTÃO B. MOURA

GRUPO DE REDES DE COMPUTADORES
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CAIXA POSTAL 10032
58.100 CAMPINA GRANDE, Pb

RESUMO: O artigo apresenta os conceitos básicos para a integração de serviços em Redes de Comunicação a Longa Distância. Após o estudo das características dos tráfegos de voz e dados, discutem-se as implicações para o desempenho, projeto e implementação das redes. As redes consideradas são as de Comutação de Circuitos e as de Comutação de Pacotes. Ao final, sugerem-se oportunidades de pesquisa na área.

1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, um considerável montante de pesquisa tem sido desenvolvida enfocando a integração de serviços tais como: voz, dados, vídeo, etc.; em uma rede de comunicação. Os tipos de rede de comunicação para suportar a integração de serviços incluem:

1. Redes públicas (ou Redes a Longa Distância)
 - (i) Rede de Comutação de Circuito (RCC);
 - (ii) Rede de Comutação de Pacotes (ou mensagens) (RCP);
2. Redes locais.

A integração de serviços se justifica por razões de economia, flexibilidade, conveniência para o usuário e pelas próprias características de tráfego pertinentes às diferentes classes de usuários que compõem a população destas redes [TAKE 75, GITM 77, GITM 78, PICK 82, DECI 82].

O desempenho de uma rede de comunicação é fortemente dependente das características de tráfego a esta oferecida. Existe, portanto, a necessidade de uma reestruturação das entidades básicas das redes supracitadas, visando uma integração de serviços, com a finalidade de suprir os requisitos básicos de eficiência dos diferentes serviços. Essa reestruturação consiste essencialmente, em selecionar (e, eventualmente, adotar) um conjunto de protocolos e interfaces que proporcionem uma integração ótima dos serviços concernentes às redes. Esta é uma preocupação iminente dos grupos de estudo VII, XI, XVI, XVII e XVIII do CCITT [DORR 81].

A integração de serviços nas redes públicas, ao nível de acesso, poderá ser galgada por dois setores: nível terminal e comutação. No nível terminal o que se verifica ainda, é o uso das redes segregadas (RCC e RCP). O tráfego oriundo das diferentes classes de usuários (terminais) é distribuído para os comutadores de acesso (comutador de circuito, CC ou comutador de pacote, CP) das redes apropriadas, isto através do uso de concentradores integrados. No setor comutação se observa o desenvolvimento de comutadores híbridos, os quais em cada nó de acesso efetuam a comutação híbrida do tráfego oriundo de concentradores e terminais de empacotamento, e distribuem o tráfego para as de

vidas redes (RCC e RCP). Uma alternativa visando a integração é o uso de meios de transmissão e comutação singulares, ou seja, uma rede com estrutura de protocolos que comporte o tráfego integrado, [TSUK 79]. É nesta última alternativa que se baseará o presente estudo.

As redes públicas (de grande porte), já implantadas, apresentam uma grande inércia no tocante à mudanças substanciais em suas estruturas básicas, a saber: transmissão, sinalização e comutação; isto por razões de padronizações e legislações estabelecidas. Conseqüentemente, uma integração de serviços, gradativa, tem sido observada em redes nos Estados Unidos, Canadá, Japão, França e em outros países da Europa. Já para redes locais a reestruturação é menos árdua, visto que o fator legislação é ausente.

Nesta publicação enfocaremos os aspectos de integração de serviços em Redes a Longa Distância. A exemplo destes serviços, citem-se: datagrama, voz-gravada, telefone, sistema pergunta/resposta, fac-símile, transferência de arquivos, videotexto e teleconferência. Entretanto, a maior percentagem de informação que tramita em uma rede integrada consiste dos tráfegos de voz e dados [GOPA 81*, DORR 81]. O número de parâmetros para otimização de uma rede integrada suportando tráfego de voz e dados é relativamente reduzido, comparado com outras possibilidades de integração de outros tráfegos. Devido a esta generalidade e a esta simplicidade, é de interesse, em uma primeira instância, o estudo da integração de voz e dados.

Há várias alternativas para a integração de voz e dados em uma Rede de Longa Distância - comutação de circuitos, comutação de pacotes e comutação híbrida.

Na comutação de circuitos um circuito fim-a-fim é estabelecido para cada par de usuários de voz ou dados e as facilidades de comutação e transmissão são dedicadas pelo tempo de duração da chamada. Esta técnica de integração tem se mostrado eficiente e econômica para tráfego com alta vazão [ITOH 73, MIYA 75]. Redes com comutação de circuitos foram aperfeiçoadas com a evolução das tecnologias analógica e digital. É importante notar que uma das tendências atuais, é o uso das redes telefônicas digitais emergentes para atender as demandas dos tráfegos de voz e dados.

As redes telefônicas digitais surgem como um resultado da integração dos sistemas de transmissão e comutação digitais. Estas redes são denominadas de "Redes Digitais Integradas" (RDI). Os benefícios observados com o uso de uma RDI para transportar o tráfego de voz são; baixo custo, desempenho fim-a-fim substancialmente superior, grande disponibilidade e serviços sofisticados resultantes do uso de programas de controle armazenados. Decorrente da potencialidade inerente das RDIs, é apropriado se considerar a aplicação destas redes para atender os requisitos de vários tráfegos de dados existentes e em desenvolvimento. Em serviços de dados com taxas de até 64 Kbps, a transparência é intrínseca. Além do mais, as RDIs apresentam um grande potencial para roteamento avançado, sinalização, manutenção e administração, para atenderem as demandas dos tráfegos de voz e dados dos mesmos usuários terminais. Estes conceitos de integração de dados e voz em uma RDI formam as bases para as emergentes Redes Digitais para Serviços Integrados (RDSI), [GRUB 83].

Em redes com comutação de pacotes (RCPs) a informação é dividida em pequenos segmentos, denominados pacotes, que são transmitidos independentemente e assincronamente através da rede de uma forma armazena-e-reenvia. Tem-se observado que as RCPs são eficientes para tráfego intermitente [ITOH 73, MIYA 75]. A possibilidade de transmitir voz e dados em pacotes, tem sido investigada extensivamente em [FORG 77, COVI 77, ULUG 77, MINO 79, TURN 83]. Estas pesquisas induzem a um aprofundamento no estudo, projeto e especificação das redes de comutação de pacotes integradas.

Nas redes de comutação híbrida, a capacidade dos canais de comunicação é dividida entre os tráfegos de comutação de circuito e comutação de pacotes de forma que ambos os tráfegos de voz e dados possam ser acomodados eficientemente [KIMM 74, YU 79, RUDI 78, GRUB 81, AVEL 82, ROSS 82].

Nesta publicação abordaremos os aspectos de integração de serviços voz/dados em redes a Longa Distância. A organização do restante do artigo é como segue. A seção 2 apresenta em maiores detalhes, as características dos tráfegos de voz e dados. Na seção 3, são discutidos os aspectos da integração do tráfego voz e dados em Redes de Comutação de Circuitos e Comutação de Pacotes, respectivamente. Conclusões, comentários e argu

mentação para novas pesquisas são fornecidos na secção 4.

2 - CARACTERÍSTICAS DOS TRÁFEGOS DE VOZ E DADOS: IMPLICAÇÕES PARA REDES INTEGRADAS

O desempenho de uma rede está relacionado com as características do tráfego suportado. Isto se aplica em especial às redes de serviços integrados sob um largo espectro de demandas de serviços. Os serviços de particular interesse são a transmissão de voz e dados. As características e os requisitos de desempenho dos tráfegos de voz e dados são bastante adversos e precisam ser examinados com vista a uma integração de serviços.

As propriedades genéricas do tráfego em uma rede de comunicação podem ser caracterizadas pelo seguinte:

- Demanda de capacidade de canal necessária para acomodar o tráfego;
- Intermitente ou não-intermitente;
- Síncrono ou assíncrono;
- Redundante ou não redundante.

2.1 - CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO DE DADOS

O tráfego de dados pode ser categorizado em dois tipos básicos:

- Interativo;
- Grande Volume de Dados (GVD).

O tráfego interativo é intermitente por natureza. Consequentemente, a sua demanda de capacidade de canal é tipicamente muito pequena [HARR 80, MOWA 80]. Este tipo de tráfego consiste basicamente de pequenos segmentos de informação - pacotes. Um dos requisitos de maior importância para este tipo de tráfego é um pequeno atraso fim-a-fim. Por outro lado, o tráfego GVD consiste de longas mensagens, e necessita de uma alta vazão, e o requisito de pequeno atraso fim-a-fim pode ser relaxado. Para o tráfego de dados, necessita-se de técnicas robustas para o controle e a recuperação de erros, isto devido a sua não-redundância. Ambos os tráfegos de dados podem ser transmitidos assincronamente.

2.2 - CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO DE VOZ

O tráfego de voz tem sido tradicionalmente tratado como uma fonte contínua de informação. No entanto, Brady [BRAD 79], mostrou que em uma conversação típica, o tráfego de voz —exibe uma característica de descontinuidade (On-Off). A capacidade do canal em cada direção é ociosa em 60 a 65% do tempo, pela razão de que apenas um interlocutor é ativo em cada momento; além do mais, existem pausas entre sentenças, frases e mesmo entre sílabas. O tráfego de voz pode ser visto como tendo jatos alternantes de conversação e de silêncio com uma entrada síncrona presente no intervalo de duração dos jatos e nenhuma nos intervalos de silêncio. Os jatos de conversação são relacionados estatisticamente. Brady [BRAD 68] obteve um comprimento médio de jato de conversação e de intervalo de silêncio de 1.366s e 1.802s, respectivamente.

O tráfego de voz requer pequeno atraso fim-a-fim com pequena variabilidade. Em acréscimo, uma composição síncrona da conversação no destino, quando se trata do tráfego de voz em pacotes, é também necessária. Por ser um tráfego redundante, os procedimentos para controle e recuperação de erros são mais flexíveis [MINO 79]. O tráfego de voz é intermitente e tem características síncronas para a transmissão, uma vez que se tem a geração de sinais periódicos no intervalo de duração de cada jato de conversação. Devido aos requisitos de consistência e sincronismo do tráfego de voz, o atraso fim-a-fim não deve ser maior que 200ms em cada sentido [MINO 79], caso nenhuma técnica de detecção de atividade de conversação seja empregada. No tocante à variância do atraso fim-a-fim, mostra-se que no máximo, esta deve ser por volta de 15%, isto para satisfazer critérios subjetivos nos padrões normais de conversação, [WEBE 77].

2.3 - ALGUMAS DIFERENÇAS ENTRE OS REQUISITOS DE DESEMPENHO DO TRÁFEGO DE VOZ E DADOS

Existem certas diferenças fundamentais entre o tráfego de voz e dados que deveriam ser observadas quando se consideram os requisitos de desempenho fim-a-fim "relativo a usuário"* em

* O termo "relativo a usuário" se refere aqui aos parâmetros de desempenho que são diretamente relevantes ao usuário.

uma Rede de Serviços Integrados (RSI). A primeira diferença se evidencia pela maneira pela qual os usuários dos serviços de voz e dados toleram certos níveis de desempenho. Para os usuários dos serviços de voz, este desempenho é na maioria das vezes medido de uma forma subjetiva, enquanto para os usuários dos serviços de dados, o estabelecimento dos níveis de desempenho se dá de uma maneira objetiva. A segunda diferença se relaciona com o mapeamento entre os parâmetros "relativo a usuário" e "relativo à rede" de uma RSI. Para o tráfego de voz, o desempenho observado é diretamente relacionado com muitos dos parâmetros de desempenho fim-a-fim "relativo à rede". Por exemplo, muitas das perturbações causadas por ruído, eco e transitórios são percebidas pelo usuário dos serviços de voz. Ao passo que para os usuários de serviços de dados o grau de desempenho é objetivamente isolado dos muitos parâmetros fim-a-fim "relativos à rede". Por exemplo, um usuário de serviços de dados está primeiramente preocupado com o parâmetro erro fim-a-fim (um parâmetro "relativo a usuário"), mas não necessita ficar preocupado com o grande número de parâmetros, "relativo à rede", de nível mais baixo, os quais caracterizam os fenômenos que produzem erros - como vários tipos de ruído e interferências. A terceira diferença diz respeito à evolução. Para os serviços de voz, qualquer que seja o estado de evolução da rede de comunicação, existirá ainda elementos da tecnologia analógica, mesmo nas emergentes Redes Digitais (RDSI) os transdutores dos terminais de voz são parcialmente analógicos por natureza. Por esta razão, muitos dos parâmetros fim-a-fim "relativo à rede", tais como nível de amplificação (LOUDNESS) e ruído de circuito ocioso, prevalecem para o tráfego de voz. Estes parâmetros são irrelevantes para os serviços de dados. Deve-se observar que mesmo nos casos onde os parâmetros "relativo a usuário" para voz e dados são comuns (e.g. atraso, e desempenho de erro), os requisitos podem ainda ser diferentes para cada serviço. Isto é devido a uma outra diferença entre as considerações de desempenho entre voz e dados, que está relacionada com o tráfego e com a integridade da informação. Isto é, apesar do tráfego de voz ser digitalizado, este não pode ser simplesmente tratado como tráfego de dados. A razão é que os sinais de uma conversação, sendo orientados por chamada ou jatos de conversação ou ambos, resultam em

um segmento de tráfego que requer uma grande vazão e pequeno atraso com pequena variabilidade. No que se refere à integridade da informação, esta não é crítica para o tráfego de voz, con tanto que a intelegibilidade seja preservada. Para o tráfego de dados, do tipo interativo, uma vazão e atraso relativamente pequenos, devem ser observados. Ao passo que para o tráfego GVD, os requisitos de vazão e atraso são relaxados. No entanto, para ambos os casos a integridade da informação é de sobremaneira crítica.

Portanto, quando se consideram os requisitos de desempenho fim-a-fim "relativo a usuário", para voz e dados, deve-se esperar em uma primeira instância conjuntos diferentes de parâmetros e em segundo lugar, mesmo com parâmetros individuais comuns, que requisitos diferentes sejam necessários para cada serviço.

2.4 - CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA VOZ E DADOS

Recentemente um trabalho extensivo foi desenvolvido para estabelecer critérios de desempenho para as redes integradas de voz e dados [GRUB 83].

2.4.1 - PARÂMETROS DE DESEMPENHO DO TRÁFEGO DE VOZ EM UMA REDE INTEGRADA

Os requisitos fim-a-fim "relativos a usuários" para o tráfego de voz são classificados na Tabela 1. Estes parâmetros são classificados em dois subconjuntos: parâmetros de transmissão e parâmetros relativos a serviço de transporte. Gruber [GRUB 83*] analisa em detalhes estes dois subconjuntos de parâmetros e discute amplamente os aspectos de evolução de uma RDSI.

2.4.2 - PARÂMETROS DE DESEMPENHO DO TRÁFEGO DE DADOS EM UMA REDE INTEGRADA

Como já indicamos, as considerações de desempenho para os serviços de dados são diferentes daquelas referentes aos serviços de voz, mesmo no contexto de RDSI. Muitos dos parâmetros

CRITÉRIO DE DESEMPENHO	PARÂMETROS DE DESEMPENHO	
	SERVIÇO DE TRANSPORTE	TRANSMISSÃO
QUALIDADE	- Tratamento incorreto	- Perda - Ruído de circ. ocioso - Eco - Ton lateral (SIDE TONE) - Capacidade de canal - Ruído de quantização - Interrupção - Erros
ATRASO	- Atraso de tom de chamada - Atraso após a discagem	- Atraso fixo - Atraso variável
DISPONIBILIDADE	- Bloqueio de chamada - Isolamento de usuário	- Interrupções longas - Queda de ligações

TABELA 1 - Classificação dos parâmetros de desempenho de voz.

relativos à voz já foram bem desenvolvidos e discutidos [GRUB 83]. Ao passo que os parâmetros de desempenho de dados relativos aos usuários, têm sido desenvolvidos recentemente e necessitam ainda, de uma aceitação ampla no que se refere a usuários como às entidades responsáveis pelas redes de comunicação. O maior esforço objetivando uma definição e classificação dos parâmetros de desempenho do tráfego de dados, tem sido feito pela "American National Standard Institute" (ANSI) através da tarefa do grupo X353 que resultou na proposição X3.102. Esta proposição foi submetida ao CCITT - SG VII a qual foi posteriormente refinada, proporcionando uma lista geral de parâmetros relativos aos usuários e qualidade de serviços, que são aplicáveis a todos os tipos de serviço independentemente da rede de comunicação. A generalidade destes parâmetros, entretanto, tende a obscurecer a sua relação com os critérios de desempenho. A Tabela 2 mostra a classificação dos parâmetros de desempenho para o tráfego de dados. Observe que alguns dos parâmetros presentes na Tabela 2, precisam ser melhor caracterizados e entendidos. No entanto, as Tabelas 1 e 2 apresentam de uma forma segregada os aspectos que se devem levar em consideração quando se objetiva uma integra

ção de voz e dados. Há portanto, a necessidade de uma caracteri-
zação única para o tráfego integrado.

3 - INTEGRAÇÃO DO TRÁFEGO DE VOZ E DADOS EM REDES A LONGA DIS- TÂNCIA

Fundamentados nas características dos tráfegos de voz e dados como também em suas implicações na integração de serviços em uma rede de comunicação, passaremos a discutir os aspectos de integração em: Redes de Comutação de Circuitos e Redes de Comutação de Pacotes. Em ambos os casos, comentaremos as modificações nas estruturas básicas destas redes com o objetivo de torná-las mais atrativas para a integração dos serviços mencionados.

CRITÉRIO DE DESEMPENHO	PARÂMETROS DE DESEMPENHO	
	SERVIÇO DE TRANSPORTE	TRANSMISSÃO
QUALIDADE	<ul style="list-style-type: none"> Probabilidade de: - Acesso incorreto - Rejeição de desconexão - Perda de informação do usuário - Entrega errada da informação do usuário - Entrega de informação extra não requisitada 	<ul style="list-style-type: none"> - Probabilidade de erro na informação do usuário
ATRASO	<ul style="list-style-type: none"> - Atraso para o acesso - Atraso para a desconexão 	<ul style="list-style-type: none"> - Atraso para a transferência da informação do usuário
DISPONIBILIDADE	<ul style="list-style-type: none"> - Probabilidade de rejeição de acesso (bloqueio do sistema) - Probabilidade do não funcionamento da rede - Duração do serviço em não funcionamento 	<ul style="list-style-type: none"> - Taxa de transferência de informação de usuário (eficiência de vazão) - Probabilidade de negação de transferência de informação (disponibilidade)

TABELA 2 - Classificação dos parâmetros de desempenho relativos ao tráfego de dados.

3.1 - REDE DE COMUTAÇÃO DE CIRCUITO (RCC)

As RCCs foram projetadas inicialmente para atender as demandas do tráfego de voz. Estas redes "de voz" (redes telefônicas de comutação de circuitos) são baseadas inicialmente em uma evolução lenta da tecnologia analógica e em seguida da digital.

As principais características de uma RCC, são:

- Acesso com bloqueio;
- Tempo de estabelecimento/desconexão de chamada;
- Atraso e vazão fixos após o estabelecimento da chamada.

Essas características são consideradas adequadas para o tráfego de voz e aceitáveis para alguns tráfegos de dados nos quais o tempo de transmissão de mensagens é tipicamente muito menor que o tempo de estabelecimento de chamada (e.g. tráfego GVD). Portanto, com esta característica do tráfego de dados, o conceito de integração de serviços de voz e dados em uma RCC é evidente. Sabe-se que as RCCs clássicas, são inadequadas para aplicações do tráfego de dados em tempo real, isto devido a má utilização dos canais de comunicação e um tempo de estabelecimento de chamada excessivamente grande. A característica tempo de estabelecimento de chamada das RCCs clássicas, descarta em uma primeira instância a possibilidade de integração dos tráfegos interativo de dados e de voz.

3.1.1 - AVANÇOS NA TÉCNICA DE COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS

O advento da tecnologia digital proporcionou um avanço significativo nas RCCs. Os objetivos destes avanços foram manter as características desejáveis das RCCs clássicas (e.g. atraso e vazão fixos) e minimizar o tempo de estabelecimento de chamada e aumentar a eficiência na utilização de recursos. O avanço tecnológico na área digital tornou possível o surgimento das redes telefônicas digitais (RDI), as quais são um resultado da integração dos sistemas de transmissão e comutação digitais. De corrente das características digitais inerentes nas RDIs, se verifica a adequação destas redes para atender as demandas dos tráfegos de dados.

A seguir passaremos a apresentar os avanços substanciais na técnica - comutação de circuitos.

3.1.1.1 - COMUTAÇÃO RÁPIDA DE CIRCUITO (CRC)

Decorrente de uma reestruturação na arquitetura dos comutadores de circuitos, acompanhados dos avanços na microeletrônica, foi possível uma redução drástica do tempo de estabelecimento de chamada. Por exemplo, hoje já se consegue um tempo de estabelecimento de chamada na ordem de 100 a 200 ms, [GITM 78, HARR 80]. O conceito CRC tem um impacto significativo também pela obtenção de uma maior utilização de recursos isto pelo processo da alocação de circuitos por mensagem ao invés de por chamada, [GITM 78, FRAN 79].

3.1.1.2 - COMUTAÇÃO DE CIRCUITO VIRTUAL (CCV)

Este refinamento consiste no uso de detetores de atividade de conversação (DACs) no tráfego de voz de forma a possibilitar a interpolação de mensagens de dados nos intervalos de silêncio [ROSS 80]. Neste caso, as mensagens de dados devem ser armazenadas nos nós de acesso esperando a disponibilidade de canal durante os intervalos de silêncio. Uma versão especializada de CCV é a interpolação de conversação (IC) em que os jatos da conversação são interpolados nos intervalos de silêncio [SCIU 78]. Note-se que com o uso da técnica CCV, uma maior utilização das facilidades é observada como também os aspectos de integração dos tráfegos de voz e dados são intrínsecos.

3.2 - REDE DE COMUTAÇÃO DE PACOTE (RCP)

Atrasos grandes e variáveis são um problema em potencial para o tráfego de voz em redes de comunicação onde o compartilhamento de recursos é feito através de armazenamento [CASN 78]. Este é o caso, nas redes de comutação de pacotes (RCPs). Sabe-se que as RCPs foram projetadas originalmente para atender as demandas de dois tipos de tráfego:

- Aplicações requisitando vazão e atrasos pequenos (e.g. tráfego interativo), e aquelas requisitando uma

vazão grande e atrasos consideravelmente maiores (e.g. tráfego GVD). Observando-se os critérios de desempenho do tráfego de voz, discutidos na secção 2, conclui-se que o tráfego de voz digitalizada e em pacotes requer vazão e atrasos pequenos. Estes requisitos são inconsistentes com as características de um grande número de RCPs já implantadas e em operação. Desta forma, aspectos como: estrutura de pacote; multiplexação e esquemas de transporte, topologia e conectividade, e protocolos da rede (controle de erros, controle de fluxo e roteamento), precisam ser rediscutidos com o propósito de tornar viáveis a integração de serviços nas RCPs. Apesar desta inconsistência de características, pode-se citar alguns fatores que fazem o método - Comutação de Pacotes - atrativo para a integração de serviços de voz e dados:

- i. Eficiência de transmissão: A maioria dos serviços de dados são caracterizados por um tráfego intermitente. Da mesma forma o tráfego de voz tem características "On-Off". As RCPs fazem uso desta intermitência de forma a permitir que vários usuários compartilhem uma mesma facilidade de transmissão. Com o advento de novas técnicas de codificação que produzem fluxos de informação intermitentes (e.g. código de predefinição linear - "CPL" - [GOLD 77]) as RCPs se tornam ainda mais adequadas para a integração dos serviços mencionados. Com o uso de alguns algoritmos de codificação estatística o fator utilização de canal poderá ser eventualmente reduzido. Uma combinação destas técnicas pode proporcionar uma razão pico-para-média maior que quatro, no tráfego de voz [FLAN 79].
- ii. Adaptação à mudanças no tráfego: As demandas do tráfego integrado são adversas, e desta forma diferentes requisitos de capacidade de canal são observados. As RCPs se adaptam muito mais facilmente a estas variações em requisitos que as RCCs.
- iii. Arquitetura interna integrada: Muitas das proposições para a integração de serviços em RDSIs in

cluem esquemas de acesso integrado mas usam redes segregadas de comutação para os diferentes tipos de informação [TSUK 79]. A técnica - Comutação de Pacotes - pode proporcionar uma solução para a integração a nível de acesso como de transporte para aplicações de voz, dados e sinalização. Consequentemente uma economia substancial será possível tanto na comutação como nos equipamentos terminais.

Alguns dos processos básicos de voz em pacotes de uma RCP são ilustrados na Figura 1.

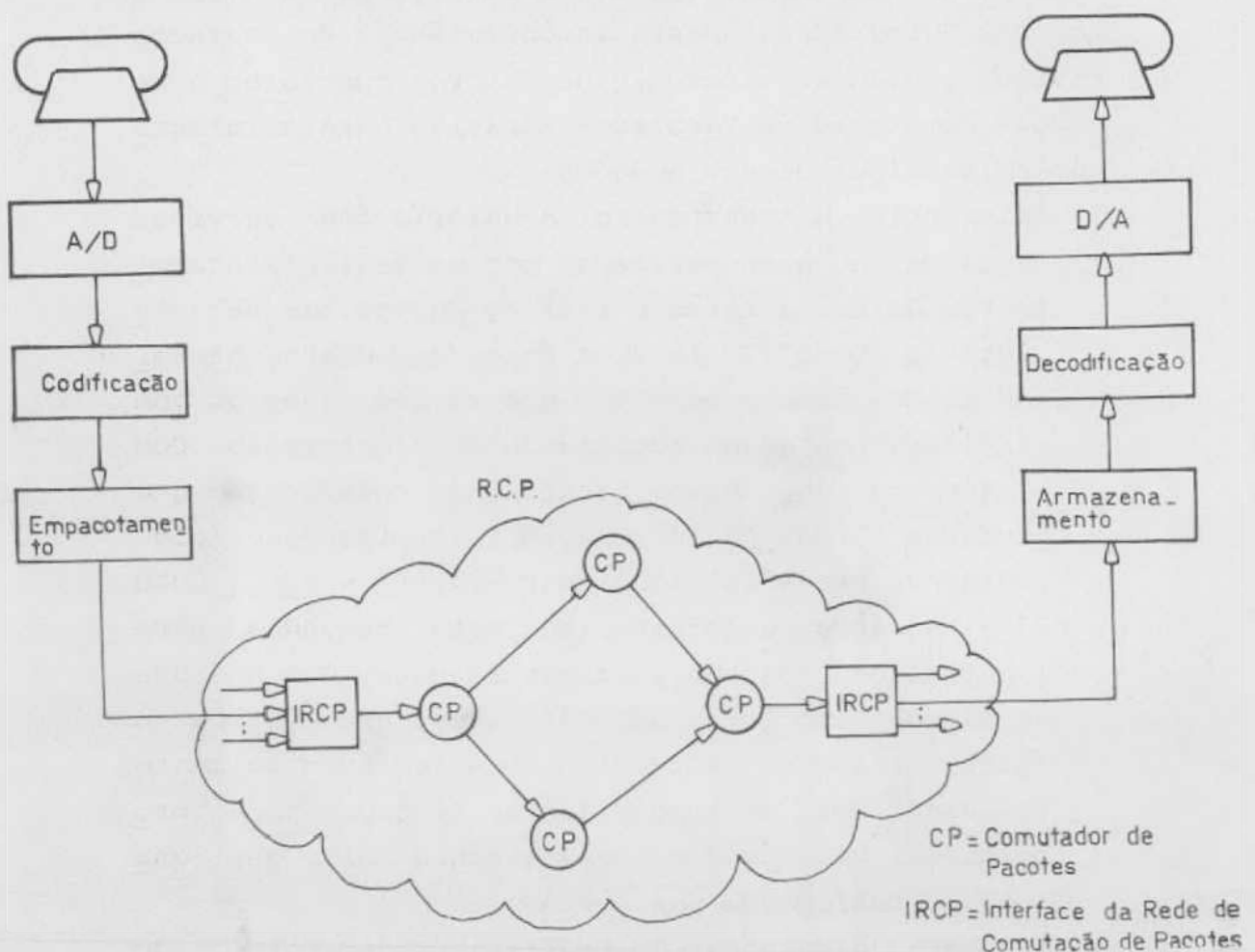


FIGURA 1 - Processos básicos de voz em pacotes.

O sinal de voz é inicialmente convertido para a forma digital com o uso do conversor A/D, e em seguida codificado adequadamente. Alguns dos possíveis algoritmos de codificação são: CPL,

PCM adaptável diferencial e códigos de sub-faixa. Cada algoritmo varia em custo, qualidade e capacidade de canal. Após a codificação este fluxo de informação é dividido em blocos (formação de pacotes) e transmitidos através da RCP. No destino, os processos de codificação e conversão são revertidos. As RCPs introduzem atrasos variáveis, e portanto pacotes pertencentes a uma mesma chamada (ou mesma palavra) podem ser diferentemente atrasados. Conseqüentemente, deve-se ter precaução no sentido de garantir que este efeito não degrade a qualidade da reprodução do sinal de voz no destino. Uma das formas de se garantir esta qualidade é atacar o problema na origem, acrescentando-se uma marca de tempo a cada pacote para preservar a cadência da reprodução do sinal de voz. Caso um pacote não consiga chegar ao destino no tempo especificado este é considerado perdido. Há várias maneiras efetivas para o estabelecimento desta marca de tempo as quais são discutidas em detalhes em [MONT 82]. A natureza estocástica dos atrasos em uma RCP fazem com que os jatos de conversação na recepção sejam distorcidos no tempo. Conseqüentemente, uma outra alternativa para se manter a intelegibilidade do fluxo de informação de voz é o armazenamento dos pacotes no destino e depois reconstituir a informação através de um esvaziamento síncrono do "BUFFER" de destino. Várias estratégias de reconstituição tem sido propostas na literatura [FORG 75, GOLD 77, COHE 77, GOPA 81].

Uma possível arquitetura interna para uma RCP integrada é sugerida e comentada em [TURN 83]. Os componentes básicos da rede proposta são mostrados na Figura 2. Diferentes tipos de IRCPS (vide Figura 2) são possíveis, dependendo da natureza do método de acesso e serviços. Os usuários podem se comunicar com as IRCPS através das LDAs (canais de voz de 64 Kbs) ou das LPs como propostas nos métodos de acesso em uma RDSI discutidas em [DECI 82]. Naquele caso, cada IRCP efetiva a codificação e empacotamento no acesso e a decodificação e reconstituição no destino. A sinalização é feita através da troca de mensagens com as IUs. Com a outra possibilidade, uso das LPs, a codificação e empacotamento de voz são efetivados pelas IUs e as IRCPS são responsáveis pela multiplexação estatística e a proteção das funções da rede. A terceira possibilidade é o uso de LAVS, neste caso o uso de protocolos similares àqueles internos da re

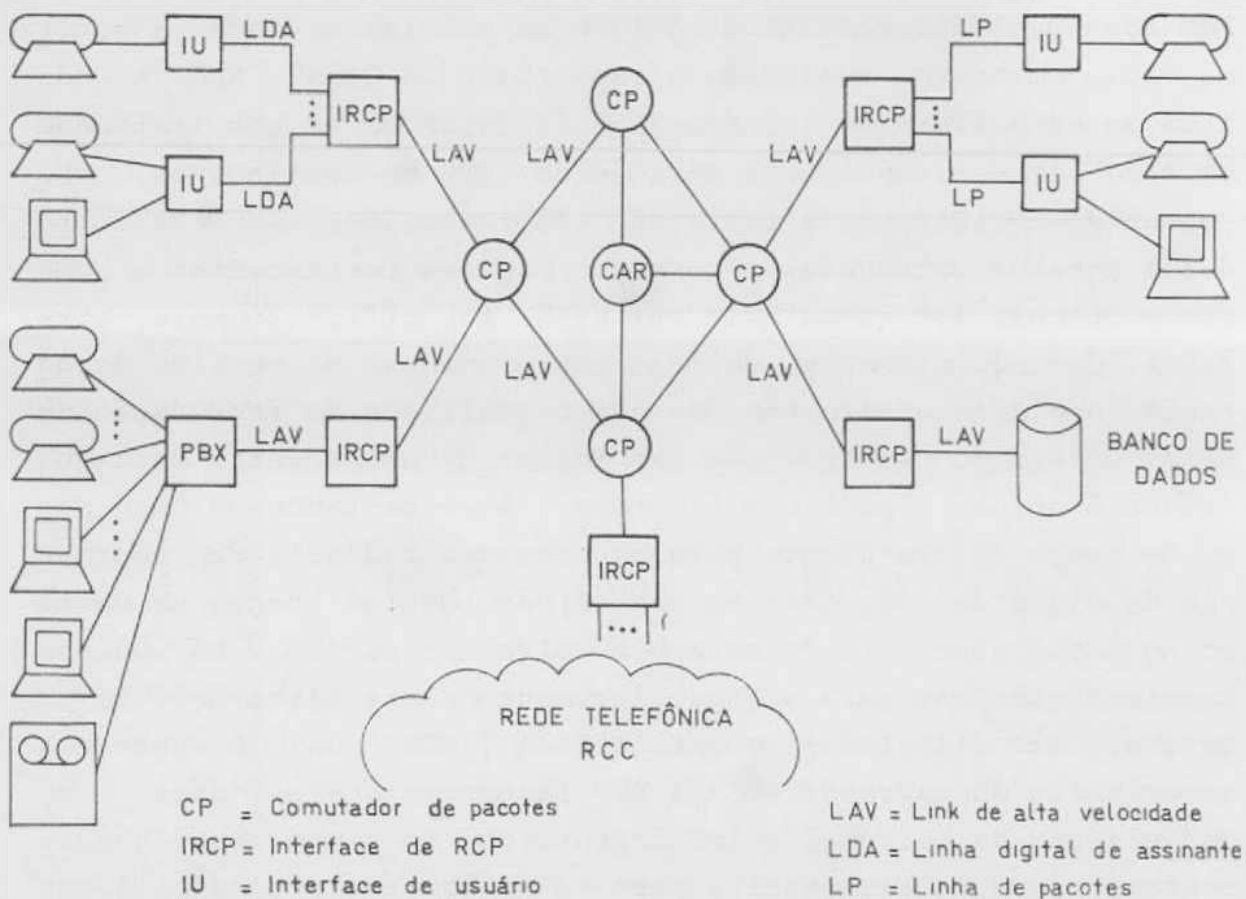


FIGURA 2 - Arquitetura de uma RCP integrada.

de, é observado. Esta interface seria usada principalmente pe los grandes usuários (e.g. bancos) mas eventualmente poderiam ser extendidas para o uso residencial no caso de serviços de faixa larga. Finalmente, interfaces com as redes telefônicas de comutação de circuitos, são uma alternativa.

3.2.1 - AVANÇOS NA TECNOLOGIA DE COMUTAÇÃO DE PACOTES

Com o propósito de amenizar os problemas relacionados com atraso no tráfego de voz em pacotes, alguns conceitos avançados de comutação de pacotes são considerados. Almeja-se manter os aspectos desejáveis da comutação de pacotes (e.g. potencial para uma alta utilização de recursos) e ao mesmo tempo minimizar os aspectos indesejáveis (e.g. vazão e atraso variáveis).

3.2.1.1 - CIRCUITO VIRTUAL DE PACOTES

Circuito virtual de pacotes (CVP) oferece uma possível solução para o dilema atraso/"OVERHEAD" na formação de pacotes. Minimizando-se o atraso na formação dos pacotes implica no uso de pacotes menores (e.g. um terminal com uma taxa de digitalização de voz de 2.4 Kbits/s impõe um atraso de mais de 400 ms na formação de um pacote de 1000 bits de comprimento). Esta redução no comprimento de pacotes resulta em um "OVERHEAD" excessivo e subseqüentemente em uma utilização de recursos ineficiente. Desta forma, cabeçalhos menores são necessários. Isto é possível com o uso de esquemas de roteamento fixo e orientados por chamada. Portanto no estabelecimento da chamada, certas informações de controle e endereço (geralmente contidas no cabeçalho do pacote) são armazenadas nos nós ao longo da rota fixa para o uso subseqüente dos pacotes seguindo esta rota e pertencentes à mesma chamada, [MOWA 80].

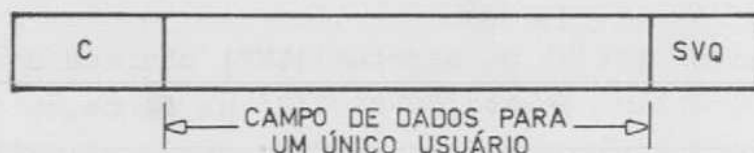
3.2.1.2 - COMUTAÇÃO "CUT-THROUGH"

A comutação "CUT-THROUGH" (CCT) foi desenvolvida para reduzir o componente "tempo de serviço" no atraso das filas dos nós intermediários em uma rota. Isto é possível com o processamento dos cabeçalhos imediatamente após a sua chegada a um nó intermediário. Se o canal para o próximo nó estiver livre o pacote é imediatamente comutado para o nó seguinte. Ao passo que se o canal estiver ocupado o pacote é armazenado e depois enviado como na forma usual - armazena/reenvia, [KERM 79]. É evidente que o uso de CCT complica os algoritmos de controle de erros de nó para nó. No entanto, como o tráfego de voz é redundante por natureza, este tipo de controle é dispensável para um grande número de aplicações de voz.

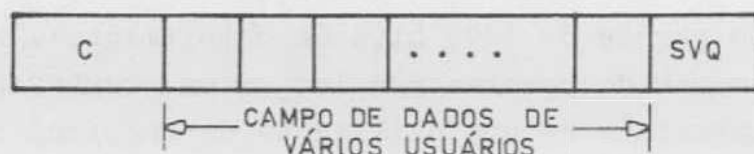
3.2.1.3 - PACOTE COMPOSTO

A estrutura de pacote composto é uma alternativa importante para os conceitos mencionados acima, uma vez que esta tem muitos benefícios inerentes incluindo aqueles apontados nas duas últimas subsecções. A Figura 3 compara as estruturas de pa

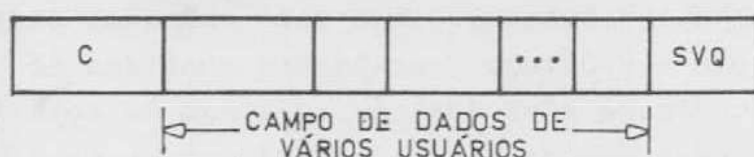
DEDICADO



COMPOSTO (HOMOGÊNEO)



COMPOSTO (HETEROGÊNEO)



C = CABEÇALHO

SVQ = SEQUÊNCIA DE VERIFICAÇÃO DO QUADRO

FIGURA 3 - Exemplos de estruturas de pacotes.

cotes composto e dedicado. Sabe-se, por exemplo, que a estrutura de pacote composto oferece uma solução para o dilema atraso/"OVERHEAD" na formação dos pacotes. A estrutura de pacote composto capacita todos os nós da rede a operarem no modo CCT. Também, a continuidade dos jatos de conversação e mensagens é preservada visto que o conceito de circuito virtual é utilizado. Além do mais, este sistema opera com multiplexação estatística no tempo o que equivale a um sistema de multiservidores. Este aspecto tem um impacto significativo no componente tempo de espera no atraso imposto pelo armazenamento da informação nos nós da subrede, [GRUB 79].

Outros aspectos tais como arquitetura de comutadores de pacotes e o conceito de redes de comutação transparente de mensagem, na integração dos tráfegos de voz e dados, são abordados com detalhes em [TURN 83 e GRUB 81], respectivamente.

3.2.2 - TOPOLOGIA E CONECTIVIDADE

A topologia geralmente usada nas RCPs, são do tipo ma

lha [KLEI 64, KLEI 75]. Com estas topologias e esquemas de roteamento não fixo ("PIPELINING" de pacotes) alguns pacotes podem passar por um número de nós maior que outros, antes de chegarem ao nó de destino. Além do mais cada nó pode impor atrasos diferentes para cada pacote. Conseqüentemente, os pacotes podem chegar ao nó de destino em tempos aleatórios e fora de sequência. Desta forma, esquemas de sequenciamento e composição de mensagens são necessários. Um requisito adicional do tráfego de voz é a preservação dos tempos de interchegada dos jatos de conversação. Portanto esta informação (marca de tempo) é transmitida com cada pacote de forma que no destino os algoritmos de reconstituição possam restaurar os tempos de interchegada dos jatos de conversação. Em geral estes algoritmos impõem um atraso fixo substancial [FRAN 77, GOLD 77, COVI 79].

Uma alternativa que deliberadamente ameniza as dificuldades supracitadas é o uso de uma topologia estruturada a qual limita o número máximo de nós atravessados antes da mensagem alcançar o seu destino. As redes telefônicas implantadas tem uma topologia desta natureza e consistem essencialmente de um sistema hierárquico tipo estrela. A Figura 4 é um exemplo de uma topologia estruturada [HARR 78, GRUB 79]. Nesta topologia, uma característica importante pode ser obtida através do produto conectividade de nós primários (custo) versus o número máximo de enlaces entre quaisquer dois nós primários (atraso). Esta característica é ilustrada na Figura 5.

A Figura 5 sugere que se deve dispor de uma conectividade de razoável de forma que o número máximo de enlaces atravessados seja dois. Esta restrição é bastante forte, uma vez que a maioria das RCPs não apresentam este grau de conectividade. Portanto modificações nos protocolos já estruturados e implantados, devem ser feitas visando atingir o objetivo de atrasos pequenos e com pouca variabilidade para o tráfego de voz. No entanto, este tipo de topologia HIERÁRQUICA tem características bastante desejáveis nas grandes redes, uma vez que nestas, uma simplificação e redução de custo podem ser observados nos algoritmos de roteamento como também das funções de operação, manutenção e administração [KLEI 77, UNSO 79, KAMO 79].

3.2.3 - PROTOCOLOS

O planejamento de redes de serviços integrados está agora recebendo uma atenção internacional considerável. Isto é evidenciado pelo número de grupos de estudo do CCITT que estão tentando estabelecer novas padronizações nas áreas de arquitetura de rede, protocolos, comutação, etc., visando a integração de serviços. Os protocolos em particular, dispensam de uma conside

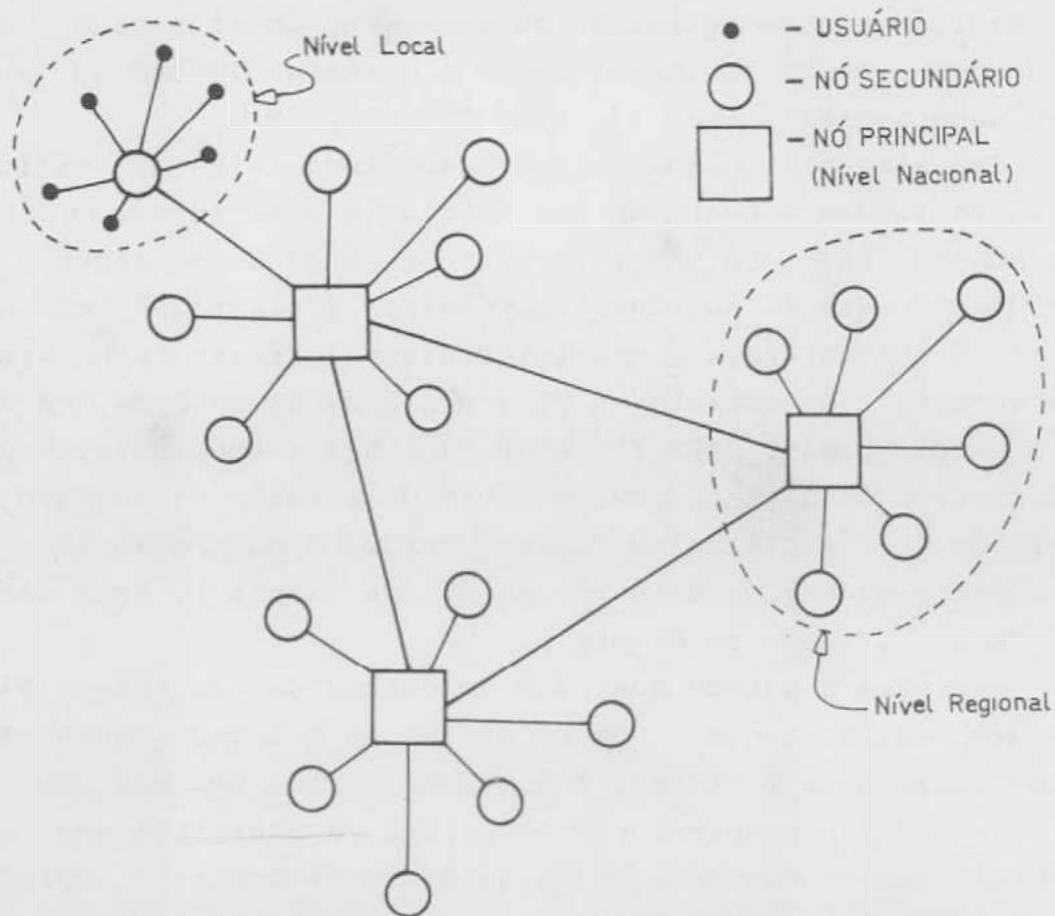


FIGURA 4 - Exemplo de uma topologia estruturada.

rável importância no projeto de tais redes. Esta importância é evidenciada pelo grande número de publicações abordando aspectos relacionados com serviços integrados. Alguns destes se referem a protocolos de acesso (usuário/rede) como em [KAMO 82, MOOR

82, PARO 82 e LETH 82]. Hoberecht trata do problema de definição de um modelo de referência de interconexão de usuários em uma rede integrada [HOBE 82]. Ao passo que em [LIST 82, BARB 83, HOBE 83] se encontram sugestões para simplificações no protocolo X.25 para o tráfego de voz. Finalmente, Turner em [TURN 83] sugere uma possível arquitetura para uma rede de serviços integrados. Portanto, é de vital importância uma abor

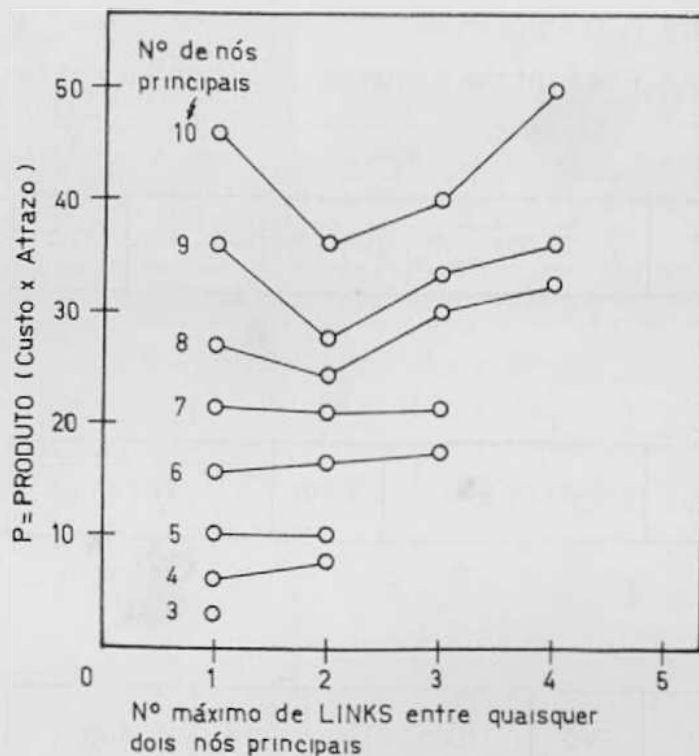


FIGURA 5 - Característica Custo-Atrazo para o nível nacional em uma topologia estruturada.

gem das funções básicas dos protocolos de uma rede integrada, a saber: controle de erros, roteamento e controle de fluxo, de forma que estes conceitos sejam entendidos e levados a termo nas proposições de protocolos a serem usados nas redes integradas emergentes.

3.2.3.1 - CONTROLE DE ERROS

O tráfego de voz é redundante por natureza. As caracte

rísticas do tráfego de voz permitem que pequenos montantes de informação sejam perdidos ou corrompidos sem uma degradação de qualidade do tráfego de voz. Desta forma o controle de erros no tráfego de voz é menos crítico que no tráfego de dados. Em geral este controle de erros é feito pelo método de retransmissão da informação recebida com erros. Este processo de retransmissão é responsável por um componente no atraso fim-a-fim na RCP. Portanto, é interessante se fazer uma diferenciação dos tráfegos de voz e dados no tocante a controle de erros [HOBE 83, LIST 83, BARB 83].

A Figura 6 ilustra algumas das opções para o controle

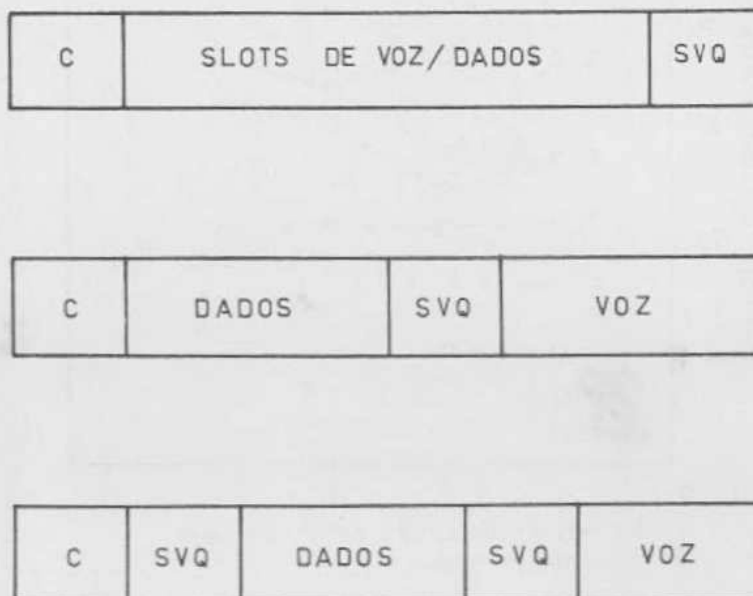


FIGURA 6 - Opções para o controle de erros no tráfego de voz e dados.

de erros para o tráfego de dados e voz, incluindo:

- Proteção de ambos os tráfegos de voz e dados;
- Proteção de dados apenas;
- Proteção dos dados e das informações de controle do tráfego de voz.

Em geral, as considerações de controle de erros para o tráfego de voz podem depender de um número de fatores que in

cluem:

- Grau de serviço (que em geral é diferente para redes públicas, privadas ou militares);
- Susceptibilidade da ocorrência de erros nos algoritmos de codificação e processamento de voz;
- Susceptibilidade de erros nos protocolos da rede;
- A natureza subjetiva da degradação devido a erros (transitórios, frequência e a duração da ocorrência e tempo de recuperação, etc).

Uma característica importante em uma rede integrada é proporcionar o controle de erros para os dados e cabeçalhos de voz e dados de forma a proteger a integridade das informações de endereçamento e controle. Isto é decorrente do fato de que a maioria dos algoritmos de codificação e processamento de voz são robusto no que se refere a erros de transmissão, [GRUB 81].

3.2.3.2 - ROTEAMENTO

Os algoritmos de roteamento são importantes no estabelecimento do desempenho das redes integradas, uma vez que o atraso fim-a-fim e a vazão são intimamente relacionados com a rota estabelecida. Em geral o roteamento pode ser:

- Orientado por chamada (e.g. RCCs clássicas);
- Orientado por pacote (ou mensagem);
- Uma combinação de ambos.

Várias alternativas de esquemas de roteamento que variam de fixos e totalmente adaptáveis, são sugeridos em [YUM 78, SEGA 79, WUND 80].

As vantagens de um esquema de roteamento adaptável incluem a habilidade para:

- Melhorar a confiabilidade da rede;
- Adaptar à mudanças no comportamento do tráfego;
- Evitar congestionamento localizado;
- Reduzir os atrasos na rede;
- Proporcionar uma maior e equilibrada utilização de recursos.

É evidente que os algoritmos de roteamento fixos e adaptáveis são complementares para o volume de tráfego oferecido à rede, grande e pequeno. Do ponto de vista de desempenho, importante seria o desenvolvimento de um algoritmo de roteamento ideal. Este tipo de roteamento usaria as características de roteamento adaptável para volumes pequenos de tráfego e gradativamente se aproximaria das características de roteamento fixo à medida que o volume de tráfego aumentasse. Na prática, a implementação e funcionamento deste roteamento ideal são complicados e dispendiosos. Necessita-se portanto, de uma investigação mais detalhada visando tornar viável a implementação deste tipo de roteamento. Desta forma, é interessante se considerar inicialmente os esquemas de roteamento fixo e orientado por voz como possível solução para o roteamento do tráfego integrado, o que é consistente com o método "comutação virtual de pacotes" e outros protocolos em estudo que visam amenizar o dilema atraso/"OVERHEAD" e a recomposição do fluxo de informação associada com o "PIPELINING" dos pacotes [FORG 77].

Os esquemas de roteamento desenvolvidos para as RCPs não foram projetados com o propósito de uma possível integração de serviços. Desta forma, apenas a figura de desempenho "atraso" é considerada para a construção das tabelas de roteamento em cada nó da subrede, no caso de roteamento adaptável. Nota-se portanto, a necessidade de se considerar um conjunto de parâmetros de desempenho, representativo para o tráfego integrado, para auxiliar na construção das tabelas de roteamento. Sheedy em [SHEE 81], considera os parâmetros: atraso, capacidade de canal e confiabilidade; nos algoritmos de construção das tabelas de roteamento.

3.2.3.3 - CONTROLE DE FLUXO

Vários métodos de controle de fluxo foram sugeridos para as RCPs, [POUZ 76, KLEI 77, RUDI 80], os quais podem ser classificados em:

- Local;
- Fim-a-fim;
- Global;

- Combinação dos anteriores.

Estes métodos são orientados por pacotes e foram deliberadamente desenvolvidos com o propósito de suprir os requisitos do tráfego de dados. Recentemente, tem-se considerado outras alternativas visando a integração de serviços em uma RCP. Estas alternativas incluem o gerenciamento do tráfego integrado para orientação por chamada e por mensagem, levando em consideração a natureza do tráfego de voz. Estas novas estratégias podem variar entre os extremos estático e dinâmico e podem incluir:

- Facilidades dedicadas;
- Bloqueio de chamada e de sessão de dados;
- Armazenamento dos jatos de conversação e das mensagens de dados;
- Considerações quanto à qualidade da voz e à integridade dos dados;
- Processamento da voz e compressão de dados;
- Combinação dos anteriores.

Algumas das técnicas supracitadas são discutidas com detalhes em [GRUB 81, HOBE 83].

3.2.4 - IMPORTÂNCIA E PROPÓSITO DE "HANGOVER" E "FILL-IN"

Com o objetivo de amenizar os efeitos de atrasos variáveis em uma RCP integrada, vamos considerar os mecanismos de "HANGOVER" e "FILL-IN". O propósito do "HANGOVER", como ilustrado na Figura 7 é efetivar a ligação de pequenos intervalos de silêncio na conversação, criando desta forma um número menor de jatos de conversação com comprimento maior. A importância do "HANGOVER" está, entre outros fatores, na redução da exposição dos jatos de conversação e atrasos variáveis nas RCPs. Isto é feito inicialmente pela redução da taxa de jatos de conversação e depois pela polarização da ocorrência de atrasos variáveis em intervalos longos de silêncio que ocorrem entre frases e sentenças e onde os efeitos de atrasos variáveis são menos notados, [GRUB 81, GRUB 82].

Uma desvantagem em potencial no mecanismo de "HANGOVER" é portanto, o aumento da atividade efetiva de conversação, uma vez que o canal é ocupado pelo "HANGOVER" durante parte dos intervalos de silêncio. Porém, Gruber em [GRUB 81] comenta que

para "HANGOVER" em torno de 200 ms e atraso médio na ordem de 200 ms (com picos de até 600 ms) a inteligibilidade ainda é aceitável. Sem "HANGOVER" picos de 200 ms no atraso fim-a-fim, são subjetivamente rejeitados.

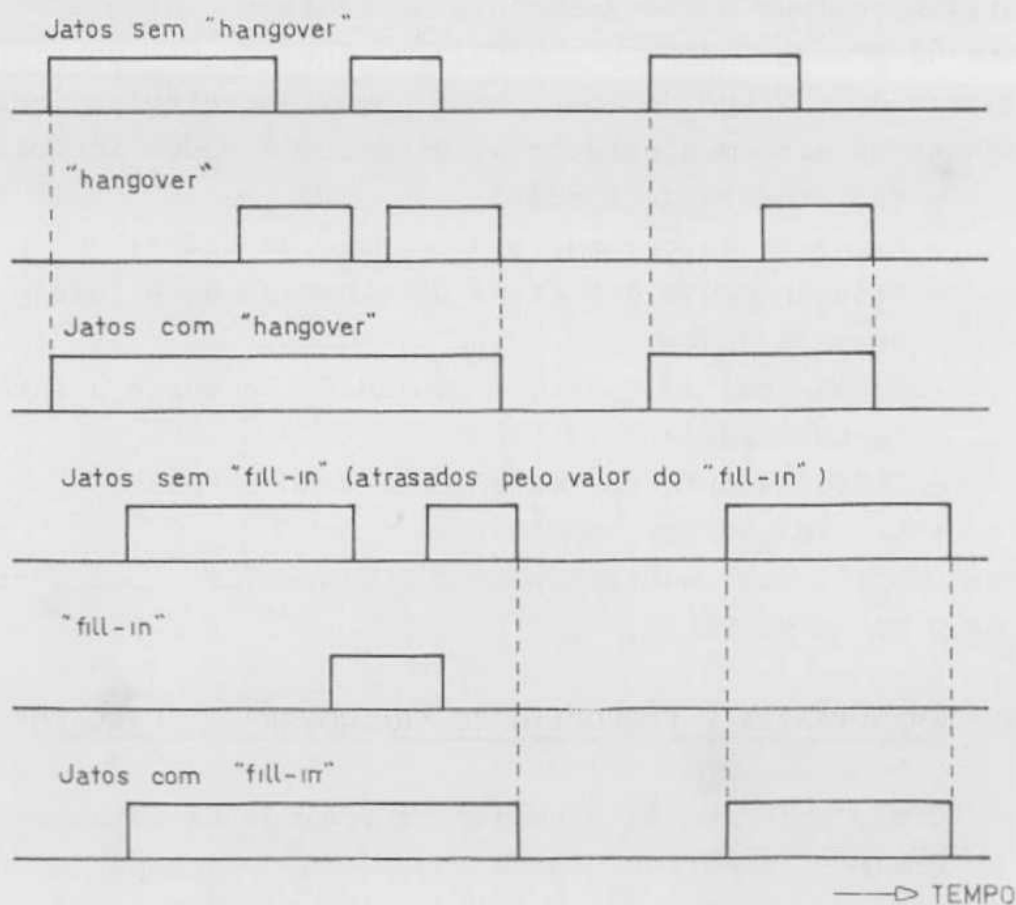


FIGURA 7 - Comparação dos mecanismos de "HANGOVER" e "FILL-IN".

Uma variação do mecanismo de "HANGOVER" é denominada de "FILL-IN" e foi considerada inicialmente por Brady em [BRAD 68]. A Figura 7, mostra que o mecanismo de "FILL-IN" elimina os intervalos de silêncio menores ou iguais ao valor do "FILL-IN". Deve-se notar portanto, que o mecanismo de "FILL-IN" não é uma operação em tempo real uma vez que o valor do "FILL-IN" atribuído ao jato de conversação atual depende da duração do próximo intervalo de silêncio. Portanto, um atraso pelo menos igual ao valor "FILL-IN" é necessário (Figura 7). Este é um atraso significativo para aplicações de comunicação em tempo real. Um va

lor típico para o "FILL-IN" é cerca de 200 ms [BRAD 68].

Com o propósito de melhor perceber os efeitos e diferenças dos mecanismos de "HANGOVER" e "FILL-IN" no tráfego de voz em pacotes, apresentamos as Figuras 8 e 9, as quais foram obtidas por Gruber em [GRUB 82].

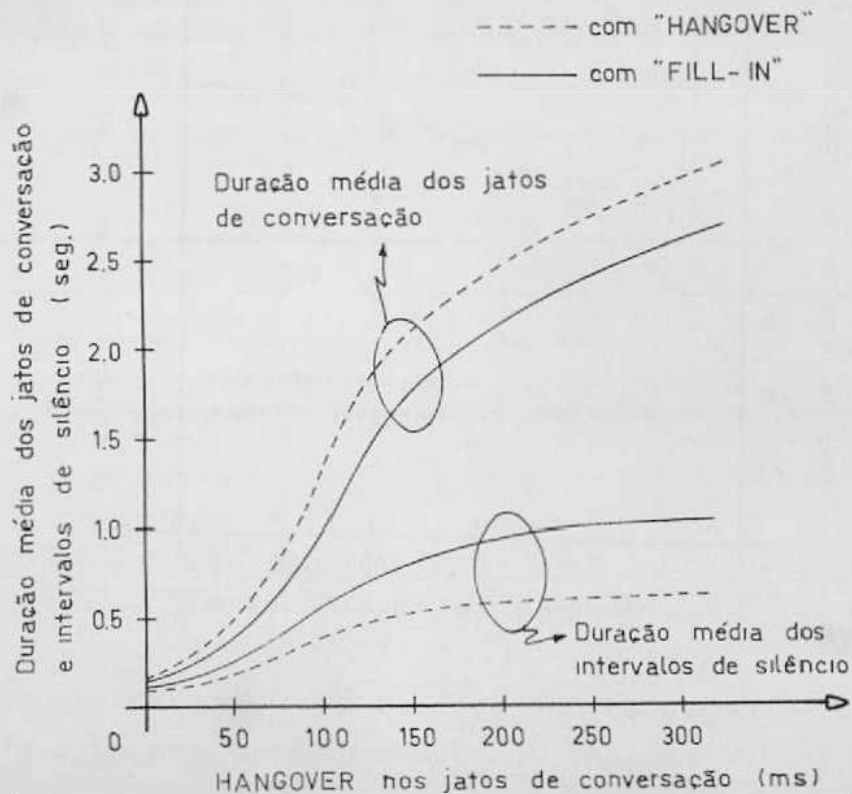


FIGURA 8 - Comparação do efeito de "HANGOVER" e "FILL-IN" na duração média dos jatos de conversação e intervalos de silêncio.

Na Figura 8 pode-se observar que o comprimento médio dos intervalos de silêncio é maior para o mecanismo de "FILL-IN" enquanto que o comprimento médio dos jatos de conversação é maior para o caso do "HANGOVER".

A Figura 9 comprova que a tividade efetiva de conversação é maior para o mecanismo de "HANGOVER" como já havíamos comentado. Note-se que a taxa de jatos de conversação é a mesma para ambos os mecanismos.

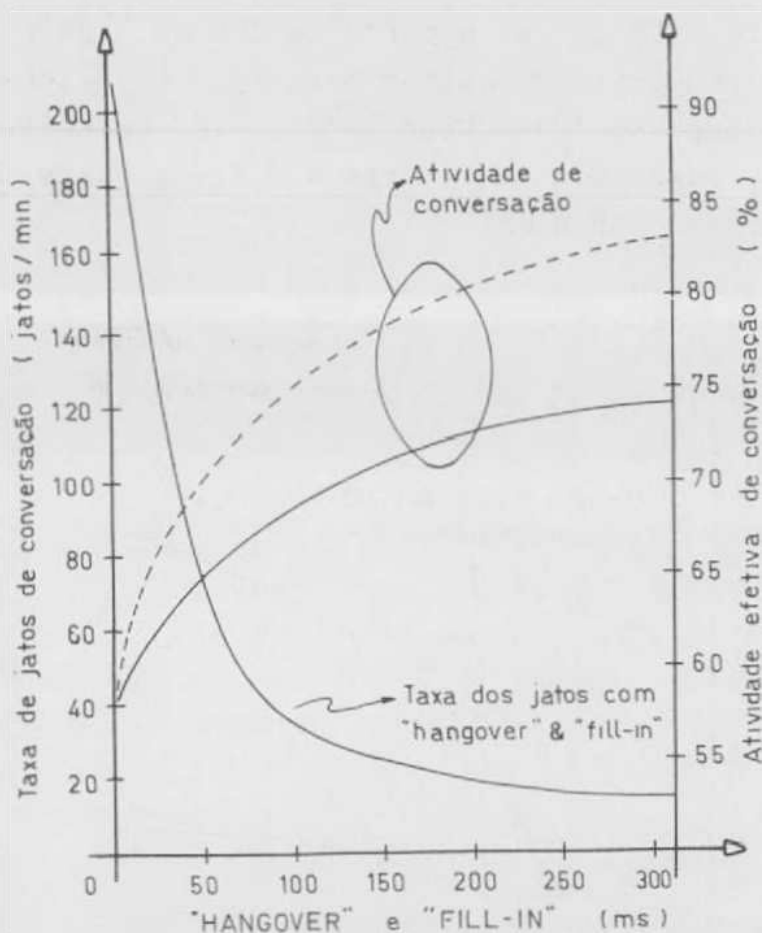


FIGURA 9 - Comparaçãõ dos efeitos de "HANGOVER" e "FILL-IN" na taxa dos jatos de conversaçãõ e ativi_ddade de conversaçãõ.

4 - CONCLUSÕES

Este artigo se propunha a apresentar de forma comentada os conceitos básicos concernentes à integração dos tráfegos de voz e dados em Redes de Comunicação de Longa Distância. Para tanto consideramos as características dos tráfegos de voz e dados e as implicações destas características para o desempenho e projeto de Redes. As Redes abordadas incluíram aquelas de Comutação de Circuitos (analógicos e digitais) e as Redes de Comutação de Pacotes. Estudaram-se as possibilidades e alternativas (propostas e/ou já implementadas) para a arquitetura de tais redes para suportar serviços integrados. Consideraram-se as próprias metodologias de comutação (e suas variantes e modificações propostas) e os protocolos para atender aos requisitos do

tráfego integrado. Como pode ser apreciado, há muito interesse e atividade nesta área. Há, também, como comentado em várias partes do texto, inúmeras oportunidades de pesquisa.

Nos assuntos para pesquisa destacamos a necessidade de um conjunto singular de medidas de desempenho representativas para o tráfego integrado, como um todo e não segregado. Este conjunto simplificaria consideravelmente as metas de projetos de redes integradas pois a otimização de suas componentes beneficiaria (ou pelo menos não prejudicaria) cada um dos tráfegos sendo integrados. Outro tópico interessante é a construção de modelos e ferramentas para avaliação de desempenho de redes integradas. Os modelos atuais de teoria das filas e simulação sofrem de deficiências matemáticas e de custo, respectivamente, quando utilizados para avaliar o desempenho de redes sob tráfego de voz e dados. Esforços nestes dois assuntos tem sido alvo de nossa atenção ultimamente. Uma outra oportunidade fértil para trabalhos é a especificação de protocolos apropriados para integração de tráfegos - acrescente-se ainda, a própria reformulação das arquiteturas de redes de comunicação como um todo. Aqui, os estudos devem considerar também outros tráfegos para integração além de voz e dados. É importante observar que no momento, os resultados destas pesquisas enfrentem resistência quanto à implementação prática devido a situações de ordem econômica e legislativa. Isto é mais aplicável ao caso de Redes a Longa Distância devido ao monopólio estatal e ao investimento já feito nestas redes. Por outro lado, as Redes Locais apresentam maior flexibilidade para absorção e adoção das tecnologias que certamente surgirão com atividades de pesquisa na área de integração de serviços. É nosso intuito enriquecer posteriormente o presente trabalho com uma revisão dos resultados já obtidos para Redes Locais. Um bom tratamento introdutório neste assunto é fornecido nestes anais [ZUCC 84].

Ao concluir, esperamos ter dado uma perspectiva geral do que vem a ser a integração de serviços em Redes a Longa Distância e despertado o interesse para esta área que no Brasil é ainda incipiente.

5 - BIBLIOGRAFIA

[AVEL 82] - Avellaneda, O.A, Hayes, J.F, Nassehi, M.M.; "A

Capacity Allocation Problem in Voice-Data Networks"; IEEE Trans. Comm., Vol. COM-30, n^o 7, July 1982, pp. 1767-1772.

- [BARB 83] - Barberis, G., Calabrese, L. and Roffinella, D.; "Coded Speech in Packet-Switched Networks: Models and Experiments"; GLOBECOM'83, pp. 77-81.
- [BRAD 59] - Brady, P.T.; "A Statistical Analysis of On-Off Patterns in 16 Conversations"; Bell System Technical Journal, n^o 38, March 1959, pp. 353-364.
- [BRAD 68] - Brady, P.T.; "A Statical Analysis of On-Off Patterns in 16 Conversations"; Bel Syst. Tech. J., January 1968, pp. 73-91.
- [CASN 78] - Casner, S.L., Mader, E.R. and Cole, E.R.; "Some Initial Measurements of Arpanet Packet Voice Transmission"; NTC Record Vol. 1, 3-6 December 78, pp. 12.2.1-12.2.5.
- [COHE 77] - Cohen, D.; "Issues in Transnet Packetized Voice Communications"; Proceeding of the 5th Data Communications Symposium, Sep. 1979, p. 6.10 - 6.13.
- [COVI 77] - Coviello, G.J., Lake, O.L., and Redinbo, G.R.; "Systems Design Implications of Packetized Voice"; IEEE Int. Conf. Commun., 1977.
- [COVI 79] - Coviello, G.J.; "Comparative Discussion of Circuit vs Packet-Switched Voice"; IEEE Trans. Commun. Vol. COM-27, n^o 8, August 79, pp. 1153-1160.
- [DECI 82] - Decima, M.; "Progress Towards User Access Arrangements in Integrated Services Digital Networks"; in IEEE Trans. on Commun. Vol. 30, September 1982, pp. 2117-2130.
- [DORR 81] - Dorros, I., "ISDN - A Challenge and Oportunity for the 80's"; IEEE Communications Magazine, March 1981, pp. 16-19.
- [FLAN 79] - Flanagan, J.L, Schroeder, M.R., Atal, B.S., Crochiere, R.E., Jayant, N.S. and Tribolet, J.M.; "Speech Coding"; IEEE Trans. Commun. Vol. Com-27 n^o 4, April 1979.
- [FORG 75] - Forgie, J.W.; "Speech Transmission in Packet-Switched Store-and-Forward Networks"; AFIPS, NCC 1975, pp. 137-192

- [FORG 77] - Forgie, J.W. and Nemeth, A.G.; "An Efficient Packetized Voice/Data Network Using Statistical Flow Control"; IEEE Int. Conf. Comm., 1977.
- [FRAN 77] - Frank, H., Frisch, I., Hsieh, W., Occhiogrosso, B. and Schneider, L.; "Issues in the Design of Networks with Intergrated Voice and Data"; ICC Record Vol. 3, June 1977, pp. 38.2-36 - 38.2-43.
- [FRAN 79] - Frank, H. and Gitman, I.; "Study shows Packet Switching best for Voice Traffic, too"; Data Commun. Vol. 2, n^o 3, March 1979, pp. 43-62.
- [GITM 77] - Gitman, I., Frank, H., Occhiogrosso, B. and Hsieh, W.; "Issues in Integrated Network Design"; International Conference on Communications, June 77, pp. 38. 1.36 - 38. 1.43.
- [GITM 78] - Gitman, I. and Frank, H.; "Economic Analysis of Integrated Voice and Data Networks: A Case Study"; Proc. IEEE Vol. 66 n^o 11, Nov 78, pp. 1549-1570.
- [GOLD 77] - Gold, B.; "Digital Speech Networks"; Proceedings of the IEEE, Vol. 65. n^o 12, Dec. 1977, pp. 1636-1658.
- [GOPA 81*] - Gopal, P.M., Wong, J. and Majithia, J.C.; "Performance Analysis for some Playout Strategies for Voice Transmission in Packet Networks"; University of Waterloo, CCNG Report E-99, 1981.
- [GOPA 81] - Gopal, P.M., Wong, J., and Majithia, J.C.; "An Evaluation of Playout Strategies for Voice Transmission in Packet Networks"; Proc. Computer Networking Symposium, December 1981, pp. 33-38.
- [GRUB 79] - Gruber, J.; "Delay Related Issues in Integrated Voice and Data Transmission: A Review and some Experimental Work"; 6th Data Commun. Symp., 27-29 November 1979, pp. 166-180.
- [GRUB 81] - Gruber, J.G.; "Performance Considerations for Integrated Voice and Data Networks"; In Computer Communications, June 81.
- [GRUB 82] - Gruber, J.G.; "A Comparison of Measured and Calculated Speech Temporal Parameters Relevant to Speech Activity Detection"; IEEE Trans. Commun. Vol. Com-30, n^o 4, April 1981, pp. 728-738.
- [GRUB 83*] - Gruber, J.G. and Le, N.H.; "Performance Require

- ments for Integrated Voice/Data Networks"; IEEE Trans. Commun., Issue on Packet Switched Voice and Data Communications, Dec. 1983.
- [GRUB 83] - Gruber, J.G. and Le, N.H.; "Performance Requirement for Integrated Voice Data Networks"; GLOBECOM '83, pp. 51-60.
- [HARR 78] - Harrington, E.A.; "Synchronization Techniques for Various Switching Network Topologies"; IEEE Trans. Commun. Vol. Com-26, n^o 6, June 78, pp. 925-932.
- [HARR 80] - Harrington, E.A., "Voice/Data Integration Using Circuit Switching Networks"; IEEE Trans. Commun. Vol. Com-28, n^o 6 June 1980, pp. 781-793.
- [HOBE 82] - Hoberecht, W.L. and Srinivas, S.; "Approaches to User Interconnection Referente Models for ISDN Communication"; GLOBECOM '82, pp. 739-744.
- [HOBE 83] - Hoberecht, W.L.; "Layered Network Protocols for Packet Voice and Data Integration"; GLOBECOM '83, pp. 60-65.
- [ITOH 73] - Itoh, K., and Kato, T.; "An Analysis of the Traffic Handling Capacity of Packet Switched and Circuit Switched Networks"; 3rd Data Communications Symposium, 1973, pp. 29-37.
- [KAMO 79] - Kamoun, F. and Kleinrock, L.; "Stochastic Performance Evaluation of Hierarchical Routing for Large Networks"; Computer Networks Vol. 3, n^o 5, Nov. 1979, pp. 337-353.
- [KANO 82] - Kano, S., Kitami, K. and Ohnishi, H.; "ISDN User/Network Protocol - Overall Architecture"; GLOBECOM '82, pp. 745-749.
- [KERM 79] - Kermani, P. and Kleinrock, L.; "Virtual Cut-Through: A New Computer Communication Switching Technique"; Computer Networks Vol. 3, n^o 4, September 1979, pp. 267-286.
- [KIMM 74] - Kimmerle; K.; "Multiplexer Performance for Integrated Line and Packet-Switched Traffic"; ICC Record, August 1971, pp. 507-515.
- [KLEI 64] - Kleinrock, L.; "Communication Nets: Stochastic Message Flow and Delay"; Dover, USA, 1961.
- [KLEI 75] - Kleinrock, L.; "Queuing Systems, Vol. II: Computer

Applications"; John Wiley 1975.

- [KLEI 77] - Kleinrock, L. and Kamoun, F.; "Hierarchical Routing for Large Networks"; Computer Networks Vol. 1, 1977, pp. 155-174.
- [LETH 82] - Leth, J.W. and White, P.E.; "A Level 3 Signalling Architecture for ISDN Subscriber Access"; GLOBECOM '82, pp. 762-765.
- [LIST 83] - Listanti, M. and Villani, F.; "Voice Communication Handling in X.25 Packet Switching Networks"; GLOBECOM '83, pp. 66-70.
- [MEHM 83] - Mehmet-Ali, M.K. and Woodside, C.M.; "Optimal Choice of Packet Size and Reconstitution Delay for a Packet Voice System"; GLOBECOM '83, pp. 964-968.
- [MINO 79] - Minoli, D.; "Issues in Packet Voice Communication"; Proc. of IEEE, August 1979.
- [MIYA 75] - Miyahara, H., and Teshigerawa, Y.; "A Comparative Evaluation of Switching Methods in Computer Communication Networks"; International Conference on Communications, San Francisco, 1975, pp. 6.6 - 6.10.
- [MOOR 82] - Moore, B.W., Whall, A.J. and Kerswell, B.R.; "ISDN Customer to Network Signalling D Channel Protocol Level 1 Aspects"; GLOBECOM '82, pp. 750-756.
- [MOWA 80] - Mowafi O.A., and Kelly, W.J.; "Integrated Voice/Data Switching for Future Military Networks"; IEEE Trans. Commun., Vol. Com-28, no. 9, Sept. 1980, pp. 1655-1662.
- [PARO 82] - Parodi, R. Romagnoli, M. and Petri, R.; "D-Channel Protocol: Role, Requirements, Level 2 Implications"; GLOBECOM '82, pp. 757-761.
- [PICK 82] - Pickens, A., and K. Hanson; "Integrating Data, Voice, and Image Traffic"; Chapter 17 in Computer Communications, Vol. II, Prentice-Hall Inc., New York 1982.
- [POUZ 76] - Pouzin, L.; "Flow Control in Data Networks-Methods and Tolls"; ICC Record, August 1976, pp. 467-474.
- [ROSS 80] - Ross, M.J.; Guttschalck, J.M. and Harrington, E. A.; "An Architecture for a Flexible Integrated Voice/Data Switch"; ICC Record Vol. 2, June 1980, pp. 21.6.1 - 21.6.5.

- [ROSS 82] - Ross, M.J. and Mowafi, O.A.; "Performance Analysis of Hibrid Switching Concepts for Integrated Voice/Data Communications"; IEEE Trans. Commun., Vol. Com-30, n^o 5, May 1982, pp. 1073-1087.
- [RUDI 78] - Rudin, H.; "Sudies on the Integration of Circuit and Packet Switching"; ICC Record Vol. 2, June 1978, pp. 20.2.1-20.2.7.
- [RUDI 80] - Rudin, H. and Muller, H.; "On Routing and Flow Control"; IEEE Trans. Commun. Vol. Com-26, n^o 7, July 1980, pp. 1030-1039.
- [SAN 81] - San-Qi Li; "Performance Analysis of a Conflict-free Multiple Access Local Area Network for Voice and Data"; M.A.Sc. Thesis in Electrical Engineering, University of Waterloo; Waterloo-Canada, 1981.
- [SCIU 78] - Sciulli, J.A.; "System Engineering Considerations in DSI Applications"; NTC Record Vol. 1, Dec. 1981, pp. 14.2.1-14.2.5.
- [SEGA 79] - Segall, A.; "Optimal Distributed Routing for Virtual Line-Switched Data Networks"; IEEE Trans. Commun. Vol. Com27, n^o 1, January 1979, pp. 201-209.
- [TAKE 75] - Takehiko, Y. and Shimasaki, N., "A Study of Future Integrated Service Digital Networks"; NTC Record Vol. 1, Dec. 75, pp. 7-6.
- [TSUK 79] - Tsukada, L., Yoshida, Y., Yukimatsu, K. and Ohnishi, H.; "Integrated Services Data Switching Network"; ISS 79, pp. 159-165.
- [TURN 83] - Turner, J.S., and Wyatt, L.F.; "A Packet Network Architecture for Integrated Services"; GLOBECOM '83; pp. 45-50.
- [ULUG 77] - Ulug, M.E. and Gruber, J.G.; "Statistical Multiplexing of Data and Encoded Voice in a Transparent Intelligente Networks"; Proceedings of the 5th Data Communications Symposium, Sep. 1977.
- [UNSO 79] - Unsoy, M.S. and Wong, J.; "Congestion Control in Hierarchical Networks"; NTC Record Vol. 3, Nov. 1979, pp. 46.3.1-46.3.7.
- [WEBE 77] - Weber, S. at al.; "Use of Variable Quality Coding and Time Interval Modification in Packet Transmission of Voice"; Bell Systems Technical Journal,

Vol. 56, nº 8, Oct. 77, pp. 1569-1573.

- [WUND 80] - Wunderlich, E.F. and Printis, R.S.; "Rerouting Stability in Virtual Circuit Data Networks"; ICC Record Vol. 1, June 1980, pp. 13.5.1-13.5.5.
- [YU 79] - Yu, W.; "Integrated Computer Communications Networks"; Ph.D. Thesis, University of Waterloo, Waterloo-Canada, 1979.
- [YUM 78] - Yum, T. and Schwartz, M.; "Comparison of Adaptive Routing Algorithms for Computer Communication Networks"; NTC Record Vol. 1, December 1978, pp. 4.1.1-4.1.5.
- [ZUCC 84] - Zucchi, W.L. e Ruggiero, W.V.; "Redes Locais com Integração de Serviços de Dados e de Voz"; Anais do 2º SBRC - Campina Grande Pb., Abril de 1984.
- [MONT 82] - Montgomery, W.A.; "Techniques for Packet Voice Synchronization"; IEEE Trans. Commun., nº 30, Sep. 1982.